

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

**Optimalizace provozu vybrané bioplynové  
stanice (BPS)**

Optimization Operation of the Selected Biogas  
Plants (BGP)

Student: Bc. David Čulík

Vedoucí diplomové práce: Ing. Veronika Sassmanová, Ph.D.

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra energetiky

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. David Čulík**

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2302T006 Energetické stroje a zařízení

Téma:

**Optimalizace provozu vybrané bioplynové stanice (BPS)**  
**Optimization Operation of the Selected Biogas Plants (BGP)**

Jazyk vypracování:

čeština

**Zásady pro vypracování:**

Navrhňte vhodná technická a technologická opatření pro optimalizaci provozu vybrané BPS a návazných provozů. Součástí navržených řešení bude:

- sestavení energetické bilance vybrané BPS,
- stanovení největších spotřebičů tepla a elektrické energie v areálu, optimalizace potřeb provozovatele,
- sestavení výpočtového modelu provozu BPS a jeho optimalizace s ohledem na hospodárnost provozu, složení substrátů i životní prostředí.

**Závěrem provedte vyhodnocení navržených řešení a doporučení pro provozovatele.**

**Součástí práce bude potřebná výkresová dokumentace (např. rozvodů tepla a spotřebičů, navržených technických řešení).**

**Seznam doporučené odborné literatury:**

1. SCHULZ, Heinz a Barbara EDER. Bioplyn v praxi: teorie - projektování - stavba zařízení - příklady. Ostrava: HEL, 2004. ISBN 80-86167-21-6.
2. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), LEITFADEN BIOGAS: Von der Gewinnung zur Nutzung, FNR Gülzow, 7. Auflage, 2016, 248 Seiten. ISBN 3-00-014333-5.
3. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Biogas, FNR Gülzow, 9. überarbeitete Auflage, 2013, 44 Seiten.
4. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Biomethan, FNR Gülzow, 2012, 47 Seiten.
5. MICHAEL J. MORAN, HOWARD N. SHAPIRO. Fundamentals of engineering thermodynamics. 5th ed., SI version. Chichester: J. Wiley & Sons, 2006. ISBN 0470030372.
6. WAYNE C. TURNER. Energy Management Handbook. 3. ed. Upper Saddle River, NJ: Distributed by Prentice-Hall PTR, 1997, p. 400. ISBN 0-13-728098-X.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Veronika Sassmanová, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017



doc. Ing. Kamil Kolarčík, CSc.  
*vedoucí katedry*



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
*děkan fakulty*

## Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval paní Ing. Veronice Sassmanové Ph.D., prof. Ing. Dagmar Juchelkové, Ph.D., pánům Ing. Václavu Kubovi a Jaroslavu Winiarskému za pomoc a rady při zpracování diplomové práce.

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 15.5.2017

  
.....

Bc. David Čulík

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, же Высoкá škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 15.5.2017

.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. David Čulík

Adresa trvalého pobytu autora práce: Novosady 450/6, Litovel 784 01

Zemědělské družstvo Haňovice  
Haňovice 18,  
783 21, Chudobín  
Ing. Václav Kuba  
předseda představenstva

Souhlasím se zveřejněním diplomové práce Optimalizace provozu vybrané bioplynové stanice (BPS), Bc. David Čulík v předložené podobě (bez kapitol 5 a 6, které obsahují citlivá data naší firmy).

V Haňovicích: 15.5.2017



Ing. Václav Kuba

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

ČULÍK, D. Optimalizace provozu vybrané bioplynové stanice: diplomová práce. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2017 58 s. Vedoucí práce: Ing. Veronika Sassmanová, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá technologií bioplynových stanic, využitím elektrické a tepelné energie se zaměřením na možnosti zvýšení výroby těchto energií. Teoretická část diplomové práce popisuje podmínky potřebné pro vznik bioplynu a samotný proces vzniku bioplynu. V praktické části diplomové práce je vypracován návrh na zvýšení výroby tepelné energie v Zemědělském družstvu Haňovice. Návrh na optimalizaci vsázky byl vytvořen z důvodu potřeby zvýšení produkce bioplynu. V závěrečné kapitole je uvedeno ekonomické zhodnocení stávající technologie využívané v Zemědělském družstvu Haňovice a po zavedení nové technologie dle vytvořeného návrhu.

## **ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS**

ČULÍK, D. Optimization Operation of the Selected Biogas Plants: Diploma thesis. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, 2017, 58 p. Thesis head: Ing. Veronika Sassmanová, Ph.D.

The thesis deals with the technology of biogas stations, utilization of electric and thermal energy focused on possibilities of increasing the production of these energies. The theoretical part describes the conditions required for biogas production and process of biogas production. In the practical part is elaborated a proposal to increase the production of thermal energy in agricultural cooperative Haňovice. The proposal was created because of need to increase biogas production. In the final chapter there is an economic evaluation of the current technology used in the agricultural cooperative Haňovice and after the introduction of new technology according to the created proposal.



## Obsah

Seznam použitých symbolů, veličin, zkratk .....	11
1. Úvod .....	12
2. Historie a bioplyn .....	13
3. Bioplynové technologie.....	14
3.1 Počet procesních stupňů .....	14
3.2 Druhy fermentorů .....	15
3.2.1 Druhy nádrží pro mokrou fermentaci .....	15
3.2.2 Horizontální fermentory .....	15
3.2.3 Vertikální fermentory .....	16
3.2.4 Druhy fermentorů pro suchou fermentaci .....	17
3.3 Bioplyn a jeho vlastnosti .....	17
3.3.1 Teplota.....	20
3.3.2 pH pro substrát .....	20
3.3.3 Inhibitory .....	20
3.4 Substráty na výrobu bioplynu .....	21
3.4.1 Kejda z chovu zvířat.....	21
3.4.2 Cíleně pěstovaná biomasa .....	21
3.4.3 Kukuřice .....	21
3.4.4 Travní siláž .....	22
3.5 Skladování bioplynu.....	22
3.5.1 Nízkotlaké zásobníky .....	22
3.5.2 Středotlaké zásobníky .....	23
3.5.3 Vysokotlaké zásobníky .....	23
3.6 Motory na spalování bioplynu .....	23
3.6.1 Plynové Ottovy motory .....	24
3.6.2 Vznětové motory se zápalným paprskem - dvoupalivové motory .....	24
3.6.3 Upravené dieselové motory na plynový zážehový provoz.....	24
3.7 Bioplyn v Evropě .....	24
3.7.1 Bioplyn v Německu.....	25
3.7.2 Bioplynové stanice v USA .....	25
4. Praktická část.....	27
4.1 Popis Zemědělského družstva Haňovice.....	27
4.2 Elektrická a tepelná energie .....	30
4.2.1 Elektrická energie.....	30

4.2.2 Tepelná energie .....	34
4.3 Tepelné ztráty .....	35
4.3.1 Výpočet tepelných ztrát.....	36
4.3.2 Tepelné ztráty $\dot{Q}_{Z1}$ .....	36
4.3.3 Tepelné ztráty $\dot{Q}_{Z2}$ .....	38
4.3.4 Tepelné ztráty $\dot{Q}_{Z3}$ .....	39
4.3.5 Celkové tepelné ztráty $\dot{Q}_{ZC}$ .....	40
5. Návrh řešení .....	40
5.1 Současné vstupy materiálů do BPS .....	41
5.1.1 Roční optimalizace vsázky podle navrženého programu .....	42
5.1.2 Cena vstupních materiálů .....	44
5.2 Návrh na zvýšení výkonu BPS.....	45
5.2.1. Návrh pro zvýšení výroby tepla - nový motor .....	45
6. Ekonomické zhodnocení .....	45
6.1 Náklady současné suroviny rok 2016.....	45
6.2 Zisk současné suroviny rok 2016 .....	47
6.2.1 Zisk elektřina 2016.....	47
6.2.2 Zisk teplo 2016.....	47
6.2.3 Zisk celkem za rok 2016 .....	48
6.3 Náklady rok 2017 .....	48
6.4 Zisk rok 2017 .....	49
6.4.1 Zisk elektřina 2017.....	49
6.4.2 Zisk teplo 2017.....	49
6.4.3 Zisk celkem za rok 2017 .....	50
6.5 Náklady optimalizovaná vsázka vize do budoucna.....	50
6.6 Zisk optimalizovaná vsázka .....	51
6.6.1 Zisk elektřina, optimalizovaná vsázka .....	51
6.6.2 Zisk teplo optimalizovaná vsázka .....	52
6.6.3 Zisk celkem za rok optimalizovaná vsázka.....	52
6.7 Náklady spojené s novým motorem .....	52
6.7.1 Návrhnost investice .....	52
6.7.2 Srovnání výroby elektrické a tepelné energie a jejich zisků .....	53
7. Závěr.....	54
8. Použitá literatura .....	56

**Seznam použitých symbolů, veličin, zkratek**

$L$	[m]	délka potrubí
$\Delta T$	[°C]	rozdíl teplot
$T_E$	[°C]	teplota zeminy
$T_M$	[°C]	teplota média
$\dot{Q}_{Z1}$	[W]	tepelné ztráty část 1.
$\dot{Q}_{Z2}$	[W]	tepelné ztráty část 2.
$\dot{Q}_{Z3}$	[W]	tepelné ztráty část 3.
$\dot{q}_{zl100}$	[W.m <sup>-1</sup> ]	tepelná ztráta pro potrubí DN100
$\dot{q}_{zl80}$	[W.m <sup>-1</sup> ]	tepelná ztráta pro potrubí DN80
$\dot{q}_{zl50}$	[W.m <sup>-1</sup> ]	tepelná ztráta pro potrubí DN50
$\dot{q}_{zl25}$	[W.m <sup>-1</sup> ]	tepelná ztráta pro potrubí DN25
BPS	[1]	bioplynová stanice
ČOV	[1]	čistírny odpadních vod
KJ	[1]	kogenerační jednotka
JZD	[1]	jednotné zemědělské družstvo
CHKO	[1]	chráněná krajinná oblast
LTO	[1]	lehký topný olej
OZE	[1]	obnovitelné zdroje energie
družstvo	[1]	Zemědělské družstvo Haňovice

## 1. Úvod

Budoucnost, to je to slovo, které si mnozí z nás představují a vidí jinak než ten druhý. Nebudu zde psát o svojí nebo něčí budoucnosti, ale o budoucnosti naší Země, protože právě my jsme ti, kteří se podílí na tom, jak to bude vypadat za 10, 50 nebo 200 let. Možná si říkáte, to je dlouhá doba, to už nebudu ani na světě. Ano, asi nebudeme, ale měli bychom myslet na další generace. Svět se neustále mění a nikdo neví, jak bude vypadat, jestli je nějaká konečná verze toho něčeho. Někdy je opravdu těžké držet krok s rychle se měnícími technologiemi a sledovat pořád nové věci.

V současné době jsou v energetice pořád na prvním místě fosilní paliva. Nejspíše to bude pořád pro to, že se neplatí za jejich výrobu, ale jen za jejich těžbu, popřípadě úpravu. V této práci, bych se chtěl věnovat právě jednomu z obnovitelných zdrojů jakožto možnou náhradu za fosilní palivo a tím je bioplyn. Mohlo by se zdát, že jde o něco nového, ale není to pravda, bioplyn je stejně starý jako život na naší planetě. Můžeme ho najít ve vlhkém prostředí bez přístupu vzduchu, kdy za pomoci metanových bakterií vzniká například v skládkách, močálech, rašeliništích, hnojištích, na rýžových polích, v jímkách kejdy a odpadních vodách. Pro nás má nejvýznamnější vliv cíleně vytvářený v bioplynových stanicích. Bioplynové stanice staví zejména zemědělská družstva především pro jejich náročnost provozu, ale provozují je i sklárny a čistírny odpadních vod. Největší výhodou v zemědělství bývá využití vedlejších výrobků, jako je hovězí, prasečí kejda a pro větší efektivitu provozu zemědělských družstev. Bioplynové stanice přispívají ke snížení produkovaného metanu, který by za normálních okolností unikl z hnoje a kejdy do ovzduší a přispíval tak ke skleníkovému efektu.

V České republice je v současné době přes 500 bioplynových stanic o instalovaném výkonu 358 MW. Valná většina je v zemědělském odvětví. Bioplynové technologie se neustále vyvíjejí a jejich potenciál bude růst s úbytkem fosilních paliv. Rozhodně se jedná o zajímavou alternativu pro výrobu elektrické a tepelné energie, bez které bychom si už asi těžko uměli představit život na Zemi. [1]

Cílem této diplomové práce je seznámit čtenáře s výrobou bioplynu a technologiemi s nimi spojenými a navrhnout vhodnou optimalizaci provozu vybrané bioplynové stanice v družstvu Haňovice.

## 2. Historie a bioplyn

Píše se rok 1770 a italský přírodovědec Alessandro Volta, vynálezce kondenzátoru a elektrometru po němž je také pojmenována jednotka "volt", provádí pokusy se spalováním bahenního plynu ze sedimentu hornitalských jezer. [2]

V roce 1821 sestavil Avogadra chemický vzorec metanu. Vůbec prvním, kdo bioplyn vyrobený z koňského hnoje využíval byl francouzský bakteriolog Pasteur, a to pro osvětlení pouličních lamp pařížských povozů. Po zjištění, že anaerobní vyhnívací proces se dá použít k čištění odpadních vod, se roku 1897 v jednom ústavu pro léčbu lepry v indické Bombaji postavilo první zařízení, kde se plyn používal ke svícení. Později roku 1907, se začal využívat také pro výrobu elektrické energie z motorů. [2]

Dostáváme se do sousedního Německa, kde technik Imhoff začíná od roku 1906 s výstavbou anaerobních, dvoustupňových čističek odpadních vod, které označoval jako "emšerské nádrže". V současné době má každá větší čistička odpadních vod anaerobní stupeň. Vyrobený kalový plyn slouží k ohřevu fermentorů nebo pro kogeneraci, za účelem výroby tepla a elektřiny. [2]

Využití kalového plynu se do období 2. světové války rozvíjelo pomocí výroby plovoucích zvonů, výkonnými dmychadly a topnými systémy pro zvýšení vyhnívacího výkonu. Na plynu byly také prováděny pokusy za účelem jeho odvodnění, odstraněním oxidu uhličitého a sulfanu, možnosti skladovat plyn a následně ho natlakovat do ocelových lahví a využívat jako pohon pro automobily. Díky velké poptávce po tomto plynu byla snaha zvýšit produkci plynu v čističkách odpadních vod a to tím, že se přidávaly pevné organické odpadní materiály. V současnosti se tato metoda, označuje jako kofermentace. Jako první přísada byl využíván tuk z lapačů tuků. Dále byly prováděny pokusy s přidáváním odpadu ze sladkého dřeva, obsah bacheru přežvýkavců, lignit, rostlinný a obilný odpad. [2]

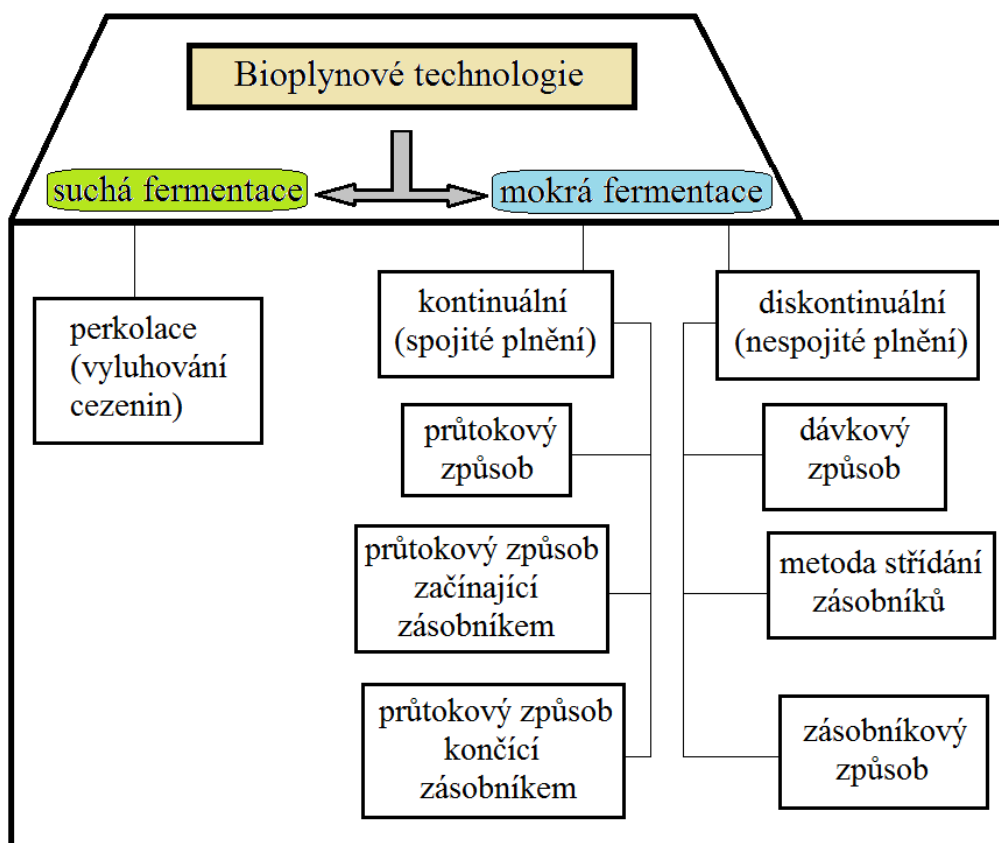
### 3. Bioplynové technologie

Základním rozdělením je buď to mokrá, nebo suchá fermentace, tedy jestli je substrát pevný nebo kapalný. Dále se technologie dělí podle způsobu plnění a počtu stupňů procesů. Schéma základních bioplynových technologií je uvedeno na obr. č. 3.1. [2]

#### 3.1 Počet procesních stupňů

Na našich zemědělských BPS, jsou používány spíše jednostupňové procesy, což znamená, že nedochází k oddělování fází fermentace a celý proces probíhá v jedné nádrži. [2]

Použitím dvoustupňových nebo třístupňových procesů jsou procesní fáze odděleny v jednotlivých nádržích. [2]



Obr. č. 3.1 Schéma bioplynových technologií [2]

### 3.2 Druhy fermentorů

O fermentorech můžeme říct, že jsou srdcem BPS. Jsou to zařízení, ve kterých vzniká bioplyn. Fermentory mají různá konstrukční provedení a musí splňovat tyto požadavky:

- vodotěsnost a plynotěsnost,
- účinné a regulované vytápění,
- tepelná izolace,
- možnost promíchání substrátu - zabránění tak teplotnímu spádu, tvorbě krust, špatné odplynění, homogenizace substrátu,
- možnost vynášení sedimentů,
- zařízení pro odvod vyprodukovaného bioplynu,
- možnost odběru zkušebních vzorků z fermentoru,

#### 3.2.1 Druhy nádrží pro mokrou fermentaci

Pro mokrou fermentaci se využívají nádrže, které jsou konstruovány buď to horizontálně, nebo vertikálně.

#### 3.2.2 Horizontální fermentory

Jedná se o fermentory cylindrického tvaru, které jsou omezeny pro svůj objem a bývají konstruovány ještě před místem určení. Je nutný transport na určené místo a mohou být použity jako předfermentor pro hlavní velké stojící fermentory. Provoz ležících fermentorů je paralelní z důvodu zpracování většího množství substrátu. [3]

Délka nádrží je většinou mnohonásobně větší než jejich výška, nastavuje se tak automaticky tzv. pískový tok. Materiál se pomalu posouvá od přívodní strany ke straně výnosu. Zmenší se tak možnost vynášet z fermentoru nevykvašený materiál a zaručí se tím správná doba zdržení materiálu v reaktoru. Základní informace jsou uvedeny v tabulce č. 3.1. [3]

Typická vlastnost	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiál - může být konstrukční, nerezová ocel nebo železo - beton</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• S velikostí objemu do 800 m<sup>3</sup></li> </ul>
Přijatelné, stanovení	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Veškeré druhy substrátů dle přizpůsobení technickým agregátů (lopatková posouvající míchadla)</li> </ul>
Priority	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dovolují využít výkonná pádlová míchací zařízení</li> </ul>
Zápory	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Náročnost na stavební plochu ležatých fermentorů</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tepelné ztráty díky velkému povrchu fermentorů</li> </ul>
Konstrukční provedení	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mohou být válcového nebo hranolového tvaru</li> </ul>
Servis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Musí mít alespoň jeden průlezový otvor v případě havárie</li> </ul>

Tab. č. 3.1 Horizontální fermentory a jejich údaje [3]

### 3.2.3 Vertikální fermentory

Vertikální fermentory jsou nejrozšířenějším druhem nádrží pro BPS. Mají nejčastěji kulatý tvar a konstruuje se až na místě určení. Základní informace k vertikálním fermentorům jsou uvedeny v tab. č. 3.2.

Typická vlastnost	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiál - může být konstrukční, nerezová ocel nebo železo - beton</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kvůli dobrému promísení materiálu se většinou staví o objemu kolem 6000 m<sup>3</sup>, ale mohou být i větší</li> </ul>
Přijatelné, stanovení	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Veškeré druhy substrátů dle přizpůsobení druhu použitých pomocných agregátů</li> </ul>
Priority	<ul style="list-style-type: none"> <li>• menší tepelné ztráty oproti horizontálním fermentorům</li> </ul>
Zápory	<ul style="list-style-type: none"> <li>• u systému s jedním míchadlem hrozí nebezpečí nepromísení veškerých míst</li> </ul>
Zvláštní opatření	<ul style="list-style-type: none"> <li>• plynotěsnost fermentoru</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sklon střechy kvůli zatížení sněhem v zimním období</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• při stavbě dostatečně pevné základy, aby nedošlo k sesedání</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• potřebné otvory pro případnou kontrolu a napojení použitých agregátů</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pro snadné vyklízení sedimentů je vhodné mít dno se sklonem buď to na střed nebo směrem k okrajům</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• přetlakový ventil kvůli bezpečnosti</li> </ul>
Konstrukční provedení	<ul style="list-style-type: none"> <li>• realizace stavby může být provedena nad povrchem země, část fermentoru v zemi část nad povrchem nebo celý fermentor pod povrchem země</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• celobjemové promíchávání</li> </ul>
Servis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nejméně jeden průlezový otvor v případě havárie nebo čištění</li> </ul>

Tab. č. 3.2 Vertikální fermentory a jejich údaje [3]



### 3.2.4 Druhy fermentorů pro suchou fermentaci

Tato metoda výroby je méně častá. Je vhodná spíše pro zemědělská družstva, která nemají k dispozici kejdu nebo jiný kapalný substrát. Základní informace pro suchou fermentaci jsou uvedeny v tabulce č. 3.3. [3]

Typická vlastnost	<ul style="list-style-type: none"> <li>• garážový typ fermentoru pro suchou fermentaci</li> </ul>
Přijatelné, stanovení	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stébelnaté, stohovatelné substráty (netekuté)</li> </ul>
Priority	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nižší počáteční náklady a nižší požadavek na plochu</li> <li>• dobré využití prostoru s ohledem na vysoký obsah sušiny</li> </ul>
Zápory	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nedá se promíchávat při procesu fermentace, menší výtěžnost bioplynu z důvodu nepropustnosti</li> <li>• místa s rozdílnou vlhkostí</li> <li>• nerovnoměrné vytváření bioplynu</li> </ul>
Zvláštní opatření	<ul style="list-style-type: none"> <li>• musí být dobře plynově utěsněná vrata pro navážení substrátu</li> <li>• nutno přetlakový ventil</li> </ul>
Servis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• jako běžná údržba plynotěsné, vytápěné stavby</li> </ul>

Tab. č. 3.3 Údaje pro suchou fermentaci [3]

### 3.3 Bioplyn a jeho vlastnosti

Bioplyn vzniká v biologickém procesu za nepřítomnosti kyslíku, kdy je organická hmota rozložena na směs plynů označována jako bioplyn. Rozklad organické hmoty probíhá pomocí bakterií. Tento proces vzniká samostatně v přírodě a to v rašeliništích, na dně rybníků, ale také na skládkách, hnojištích a na čistírnách odpadních vod. Ve světě se výroba bioplynu v bioplynových stanicích stále rozšiřuje zejména v zemědělství, kde cílem je: [2]

- získání cenné energie,
- snížení zápachu,
- snížení žíravého účinku,
- lepší tekutost,
- zamezení ztrátě živin,
- lepší odolnost rostlin a jejich růstu,
- zmenšení růstu plevelů,
- zpracování organických zbytků.

Bioplyn se skládá ze dvou hlavních složek. První z nich je metan, který tvoří 40 až 75 % a druhou složkou je oxid uhličitý 25 až 50 %. Bioplynu obsahuje také malé množství vodíku, sulfanu, amoniaku a další stopové plyny. Podrobné složení bioplynu je uvedeno v tab. č. 3.4. To v jakém procentuálním množství se v bioplynu dané složky nachází, ovlivňuje složení substrátu pro výrobu bioplynu. Rozklad neboli fermentace bioplynu se dělí na čtyři fáze, které jsou popsány na obr. č. 3.2. [2]

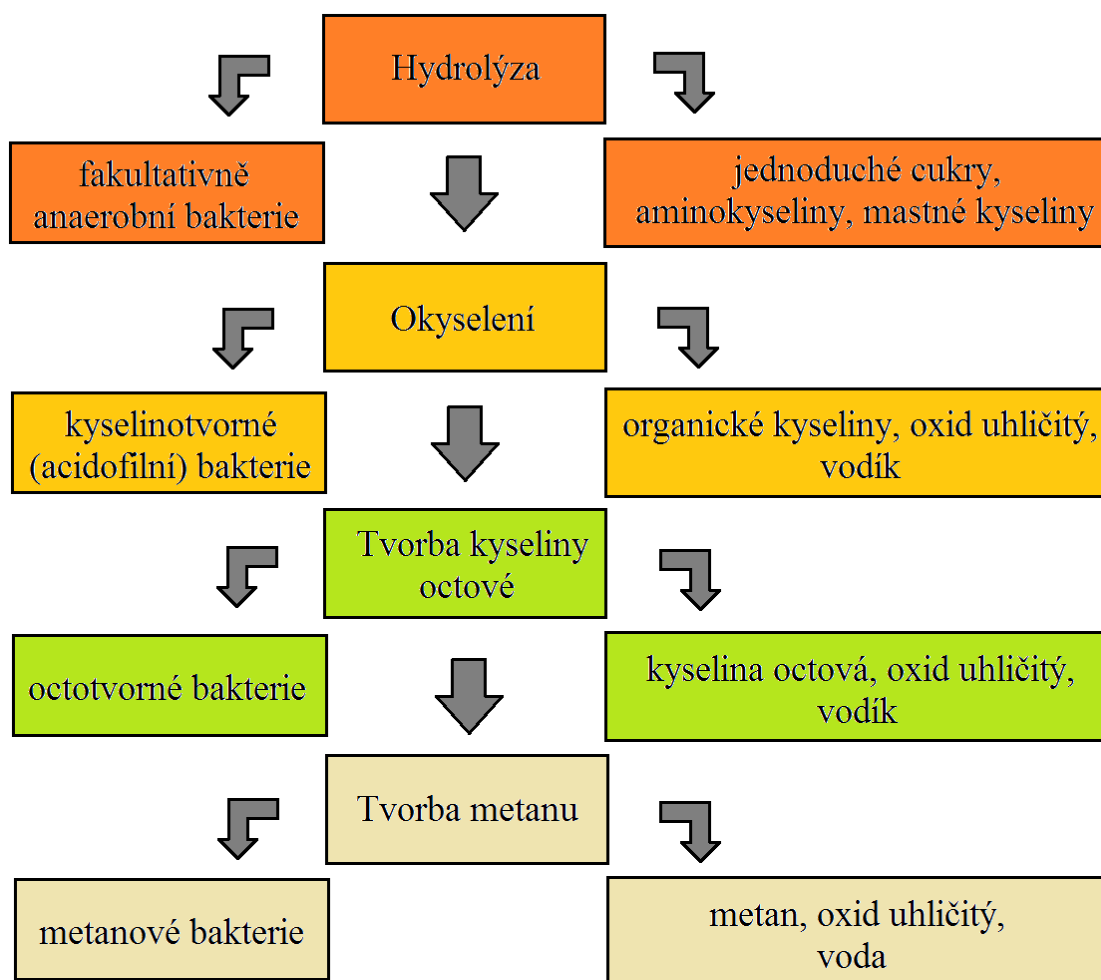
Prvek	[% obj.]
Metan (CH <sub>4</sub> )	40 - 75
Oxid uhličitý (CO <sub>2</sub> )	25 - 55
Vodní pára	0 - 10
Dusík (N)	0 - 5
Kyslík (O <sub>2</sub> )	0 - 2
Vodík (H <sub>2</sub> O)	0 - 1
Čpavek (NH <sub>3</sub> )	0 - 1
Sulfan (H <sub>2</sub> S)	0 - 1

Tab. č. 3.4 Složení bioplynu [4]

Rozdělení výroby bioplynu podle kritérií je v tabulce č. 3.5.

Kritérium	Rozdílové znaky
Počet procesních stupňů	Jednostupňový Dvojstupňový Třístupňový
Procesní teplota	Psychrofilní Mezofilní Termofilní
Způsob pohybu substrátu	Přerušovaný Poloplynulý Plynulý
Podíl sušiny v substrátu	Mokrý proces Suchý proces

Tab. č. 3.5 Postupy na výrobu bioplynu, dle daných kritérií [3]



Obr. č. 3.2 Proces fermentace ve čtyřech fázích [2]

Hydrolyza - v této prvotní fázi dochází k rozkladu makromolekulárních rozpuštěných a nerozpuštěných organických látek (polysacharidů, lipidů, proteinů) na nízkomolekulární látky, které jsou rozpustné ve vodě.

Acidogeneze (okyselení) - v této fázi dochází k dalšímu rozkladu produktu hydrolyzy na jednoduché organické látky, především na nižší mastné kyseliny, alkoholy,  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2$ .

Acetogeneze (tvorba kyseliny octové) - je fáze vzniku kyseliny octové, vodíku a  $\text{CO}_2$  z produktů předchozí fáze okyselení.

Methanogeneze (tvorba metanu) - je fází vzniku metanu z kyseliny octové acetotrofními methanogenními bakteriemi a z jednoduhlíkatých substrátů. [5]

### 3.3.1 Teplota

Jedním z důležitých faktorů, které mají vliv na vznik bioplynu, je teplota procesu. Možná se může zdát, že čím větší teplota ve fermentoru je, tím jsou bakterie více produktivní a vytváří více bioplynu. Bohužel, tomu tak není, protože teplota musí být udržována v požadovaném rozmezí a to z prostého důvodu. Pokud teplota není udržována v požadovaném rozsahu, může docházet k zpomalení procesu nebo úplnému odumírání bakterií. Určité kmeny bakterií potřebují různou teplotu pro svůj rozvoj. Podle teploty můžeme rozdělit mikroorganismy na: [2]

- Psychrofilní,
- Mezofilní,
- Termofilní.

Psychrofilní, potřebují teplotu pod 25°C. Zpravidla dochází jen k nízké degradaci a kvůli neekonomickému provozu pro výrobu bioplynu se nepoužívá. Mezofilní mikroorganismy, u nichž se teplota pohybuje mezi 37 - 42°C, jsou nejvíce používány pro výrobu bioplynu díky velké výnosnosti a stabilitě procesu. U termofilních bakterií se teplota pohybuje mezi 50 - 60°C. Výhodou u těchto bakterií oproti svým předchůdcům je především hygienizace závadného materiálu a používají se spíše u suchých fermentačních procesů. Naopak nevýhodou je menší stabilita, snížená odvodňovací schopnost fermentovaného materiálu a dochází k větším tepelným ztrátám. Pokud srovnáme fermentaci termofilní s fermentací mezofilní, tak dochází sice k vyšší produkci bioplynu, ale na úkor obsahu metanu. [2]

### 3.3.2 pH pro substrát

Změna pH má největší vliv na poslední fázi, kdy dochází k tvorbě metanu. Hodnota pH by se měla pohybovat mezi 6,5 - 7,5. Tak jako teplota, i pH ovlivňuje činnost bakterií tzn., pokud je pH pod 6 nebo nad 8. Většinou se správné pH kejdý a hnoje vytvoří samo v druhé fázi procesu vlivem tvorby amoniaku. V případě potřeby, jako je u syrovátky a siláže, lze přidat vápno pro zvýšení hodnoty pH. [2]

### 3.3.3 Inhibitory

Inhibitory jsou látky, které přispívají k zpomalení procesu fermentace. Jejich přítomnost může dokonce vést až k úplnému zastavení procesu. Za inhibitory považujeme antibiotika, organické kyseliny, desinfekční prostředky a další látky, které se dostanou do substrátu např. při ošetřování zvířat či dezinfekcí chlévů. [2]

### **3.4 Substráty na výrobu bioplynu**

#### **3.4.1 Kejda z chovu zvířat**

Jedním z nejběžnějších materiálů pro výrobu bioplynu je hovězí a prasečí kejda s poměrně nízkým obsahem sušiny. Lze jí dobře kombinovat s ostatními materiály. O něco obtížněji zpracovatelný je slamnatý hnůj, který se díky svému vysokému podílu sušiny musí ještě naředit, aby byl pumpovatelný. Kejda je do fermentoru dopravována buď to z vstupní jímky, nebo lze použít předjímku, z které se pomocí potrubí čerpá na místo určení. [6]

#### **3.4.2 Cíleně pěstovaná biomasa**

Biomasa použitelná na výrobu bioplynu se zařazuje do dvou kategorií AF 1 - cíleně pěstovaná a AF 2 - ostatní biomasa.

Cíleně pěstovanou biomasou se rozumí plodiny pěstované pro bioplynové stanice na zemědělské půdě. Jedná se hlavně o kukuřici na siláž, ozimé žito a travní směsi na senáž. Pozemky s cíleně pěstovanou biomasou musí být zaregistrovány v seznamech vedených Státním zemědělským a intervenčním fondem. Podle podílu cíleně pěstované biomasy a ostatních vstupů do procesu fermentace se přiznává příslušný zelený bonus. Zelený bonus v kategorii AF 1 splňuje BPS spotřebovávající cíleně pěstovanou biomasu v rozmezí 50 - 70% celkové spotřeby sušiny v BPS. Při jiných poměrech je BPS zařazena do kategorie AF 2.

Podpory obnovitelných zdrojů energie vyhláší Energetický regulační úřad ve svém Věstníku formou cenových rozhodnutí. Mezi nejčastěji pěstované plodiny patří:

- kukuřice,
- travní siláž.

#### **3.4.3 Kukuřice**

Kukuřice je nejrozšířenějším druhem cíleně pěstované biomasy, která má velký výnos energie na hektar. Bylo by možné fermentovat pouze kukuřičnou siláž, ale častěji se míchá spolu s kejdou. Důvodem je, že je tím proces stabilnější a lépe se kukuřičná siláž rozloží. [6]

### 3.4.4 Travní siláž

Podobně jako kukuřice se travní siláž hodí k pěstování a použití pro fermentaci. Travní siláž je jednoduchá na pěstování a sklizeň pro výrobu bioplynu. [6]

### 3.5 Skladování bioplynu

Bioplyn je skladován v plynojemu. Velikost plynojemu závisí na objemu vyrobeného plynu a průběhu jeho spotřeby. Zásobníky skladující tento plyn musí mít tyto vlastnosti:

- a) plynotěsnost,
- b) odolnost vůči:
  - b1) tlaku,
  - b2) mediím,
  - b3) ultrafialovému záření,
  - b4) teplotám,
  - b5) povětrnostním podmínkám.

Před samotným prvotním provozem je potřeba provést zkoušku těsnosti. Protože se jedná o tlakové zařízení, je nutné mít zásobníky vybaveny přetlakovými a podtlakovými pojistkami. Zabráníme tak nežádoucí změně vnitřního tlaku v zásobníku. Dalším důležitým parametrem pro konstrukci je, objem plynojemu, který musí pojmout 1/4 - 1/8 denní produkce bioplynu. Rozlišujeme tři základní rozdělení plynojemů: [3]

- nízkotlaké,
- středotlaké,
- vysokotlaké.

#### 3.5.1 Nízkotlaké zásobníky

Je nejrozšířenější použití pro BPS, kdy přetlak v plynových zásobnících se pohybuje v rozsahu 0,05 až 0,5 milibarů. Jsou tvořeny z fólií, které odpovídají bezpečnostním požadavkům. Z pravidla je jejich instalace prováděna na fermentor.

Externí fóliové nízkotlaké zásobníky mohou být provedeny ve tvaru polštáře, které jsou schovány pod střechou kvůli povětrnostním vlivům nebo přikryty druhou fólií. Fólie je plynotěsná a je umístěná na horní hraně fermentoru, kde je vestavěn nosný stojan. Při prázdném stavu se na něj fólie může navěsit. Fólie je z materiálu, který se rozpíná podle toho, jak je plynový zásobník naplněn. Základní údaje o fólii uvedeny v tabulce č. 3.6 [3]

Typická vlastnost	<ul style="list-style-type: none"> <li>vyrábí se do objemu 4000 m<sup>3</sup></li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>s přetlakem od 5 do 100mbar</li> </ul>
Přijatelné, stanovení	<ul style="list-style-type: none"> <li>pro všechny BPS</li> </ul>
Priority	<ul style="list-style-type: none"> <li>není nutná další budova</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>není nutnost dalšího místa</li> </ul>
Zápory	<ul style="list-style-type: none"> <li>nízká tepelná izolace, když není střecha</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>citlivá na vítr a sníh</li> </ul>
Zvláštní opatření	<ul style="list-style-type: none"> <li>tepelná izolace je možná pomocí dvojité fólie</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>míchadla se nadají montovat na strop fermentoru</li> </ul>
Servis	<ul style="list-style-type: none"> <li>téměř bez údržby</li> </ul>

Tab. č. 3.6 Základní údaje o fóliích [3]

### 3.5.2 Středotlaké zásobníky

Středotlaké zásobníky se vyrábějí z oceli a pracují s provozním tlakem 5 až 20 barů. Tyto zásobníky mají využití zejména tam, kde není prostor pro instalaci nízkotlakých zásobníků. V středotlakých zásobnících se stlačený bioplyn chová téměř jako ideální plyn, to znamená, že množství obsažené v zásobníku stoupá úměrně tlaku. Například při stlačení bioplynu na 10 barů lze skladovat desetkrát větší množství než za normálního tlaku. [2]

### 3.5.3 Vysokotlaké zásobníky

Ve vysokotlakých zásobnících se bioplyn stlačuje do ocelových lahví na více než 200 barů. Avšak v zemědělských provozech se díky vysokým nákladům nepoužívá. [2]

## 3.6 Motory na spalování bioplynu

V současné době existuje několik firem nabízející motory pro BPS. Při volbě motorů hledáme nejčastěji tyto požadavky:

- nízká cena,
- dlouhodobá životnost při plném zatížení (provoz po celý rok),
- co nejlepší účinnost,
- snadná údržba, dostupnost náhradních dílů,
- chlazení vodou pro využití odpadního tepla,
- odolnost vůči vlhkosti a stopovým látkám obsažených s bioplynu.

Skloubit všechny požadavky je obtížné. Bývají často spojeny jeden na úkor druhého. Tak jako ve většině případů převládá samotná cena zařízení. Na spalování paliva se používají plynové Ottovy motory, upravené dieselové motory nebo vznětové motory se zápalným paprskem. [3]

### **3.6.1 Plynové Ottovy motory**

Tyto motory pracují podle Ottova principu a jsou speciálně vyvinuty pro plynový provoz. Pro minimalizaci emisí oxidu dusíku jsou motory provozovány s nízkým obsahem paliva a s vysokým přebytkem vzduchu. Zvýšení plnicího tlaku vzduchu obstarává turbodmychadlo. Motory jsou určeny pro spalování bioplynu s obsahem 45 % a výše. Dojde-li k spalování s nižším procentuálním obsahem metanu, dochází k problematickému chodu, který může vést až k vypnutí motoru. Při najíždění bioplynových stanic, kde ještě není produkován bioplyn lze využít i možnosti spalování jiného plynu jako je zemní plyn. [6]

### **3.6.2 Vznětové motory se zápalným paprskem - dvoupalivové motory**

Pracují podle Dieselova principu, kdy bioplyn je přimícháván přes plynový mísič ke spalovacímu vzduchu a je zapalován vznětovým palivem přiváděným do spalovacího prostoru. Jejich chod je s vysokým přebytkem vzduchu jako u Ottových. Tyto motory mohou spalovat čistý olej nebo naftu při nedostatku bioplynu. Rovněž při rozjezdu bioplynových stanic je snadná přestavba na náhradní paliva. Nejčastěji jako vznětové palivo se používá motorová nafta nebo topný olej. [6]

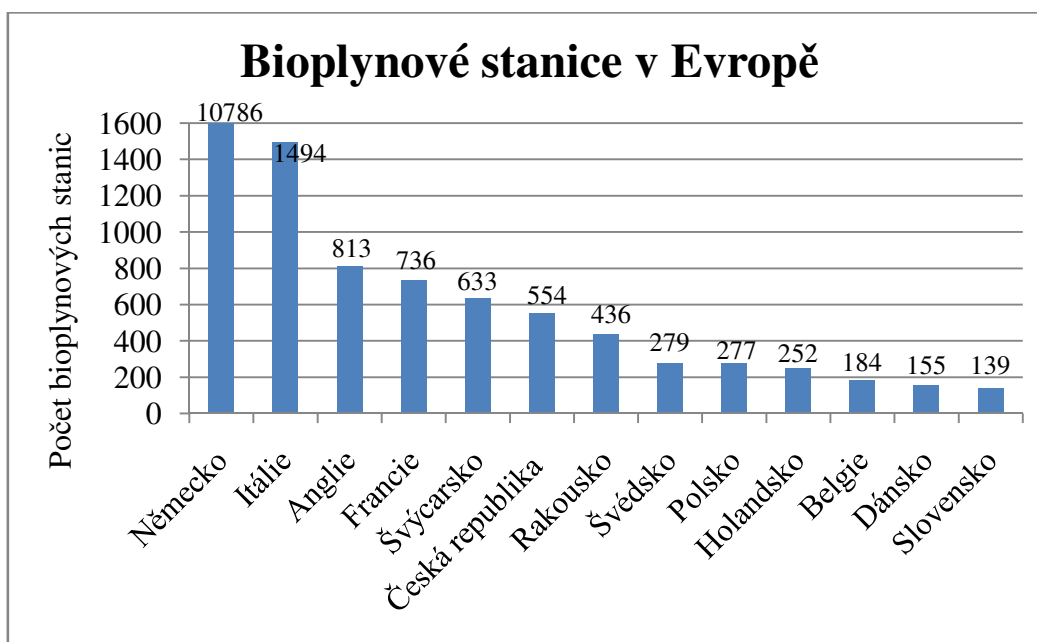
### **3.6.3 Upravené diesellové motory na plynový zážehový provoz**

Tyto motory využívají své těžké, robustní konstrukce a jejich komprese. Namísto vstřikovacího zařízení se zabuduje zařízení pro zážeh z cizího zdroje a směšovač plynu. Nejlépe se tyto motory osvědčily pro spalování generátorového a skládkového plynu. Pro zemědělské stanice jsou moc veliké a drahé. [6]

## **3.7 Bioplyn v Evropě**

V Evropě, Česká republika obsazuje v počtu BPS myslím si, že krásné 6. místo. Jako první a největší producent bioplynu je Německo s počtem bioplynových stanic přes 10 700. Na druhém místě je Itálie s počtem BPS přes 1490, třetí místo patří Anglii s počtem přes 800 BPS. Po Anglii následuje Francie a Švýcarsko. Podrobné údaje o počtu BPS v Evropě jsou graficky zaznamenány v grafu č. 3.1. Celkový počet BPS v Evropě dosahuje přibližně 17 240 s celkovým výkonem 8 293MW<sub>el.</sub> po rok 2015. [7]





Graf. č. 3.1 Počet bioplynových stanic v Evropě po rok 2015 [7]

### 3.7.1 Bioplyn v Německu

V roce 2015 bylo v Německu výrobou bioplynu dosaženo instalovaného výkonu 4 155 MW<sub>el.</sub>. Největší podíl z těchto zařízení se nachází na jihu a severozápadě Německa. V roce 2014 dosáhly vyrobit z bioplynu 1 100 MW<sub>el.</sub> v Bavorsku a Badénsku - Württembersku a 1 479 MW<sub>el.</sub> v Severním Porýní - Vestfálsku, Dolním Sasku a Šlesvicku - Holštýnsku. Největší množství vyprodukované elektrické energie z obnovitelných zdrojů je právě z bioplynových stanic 30,1 TWh, představuje to asi 62 % z obnovitelných zdrojů. Největší nárůst stavby bioplynových stanic proběhl v letech 2009 a 2011. V roce 2014 reforma zákona o obnovitelných zdrojích energie, přispěla k omezené podpoře výroby bioplynu, podpora na výrobu bioplynu byla výrazně snížena, což vedlo k poklesu nově instalovaných zařízení. [8]

### 3.7.2 Bioplynové stanice v USA

Amerika země neomezených možností, ale v oblasti bioplynové techniky je to přesně naopak. Přestože je to tak obrovská velmoc, tak počet bioplynových stanic ve všech státech je jen okolo 2 200. Z toho pouhých 259 bioplynových stanic je v zemědělském odvětví.

V USA je obrovský potenciál pro růst průmyslu v bioplynové technice. Hlavně ve velké části v zemědělství, které málo využívají možnost výroby bioplynu. [9]



Obr. č. 3.3 Mapa bioplynových stanic v USA [9]

- Modrý bod - ČOV
- Červený bod - Zemědělství
- Žlutý bod - Skládky

## 4. Praktická část

V této části jsem se nejdříve zaměřil na popis družstva Haňovice, kde jsem poprvé ještě na základní škole chodil na brigády a vůbec by mě nenapadlo, že jednou s nimi budu spolupracovat na diplomové práci. Osobně jsem zde docházel na konzultace, což bylo pro mě důležité pro vypracovávání této diplomové práce. Součástí konzultací bylo i seznámení se s celým areálem a provozem od skladování materiálu, dopravy, tvorby bioplynu až po konečnou fázi spalování bioplynu v KJ. Toto mi umožnilo lépe tak pochopit celý proces výroby. Díky spolupráci s družstvem Haňovice jsem se mohl zúčastnit školení pro provozovatele a obsluhu BPS, které pořádal BIOM, České sdružení pro biomasu. Toto tří denní školení se stalo rovněž přínosem pro moji diplomovou práci, jelikož jsem mohl konzultovat své otázky s lidmi z praxe. Dozvěděl jsem se tak i o jiných provozech v ČR.

Další pod bod, který tato kapitola popisuje, je spotřeba elektrické a tepelné energie areálu družstva, kde jsem provedl výpočet tepelných ztrát v potrubí.

Cílem této práce je optimalizace vsázky pro stabilitu provozu a návrh řešení na zvýšení výroby tepelné energie, která se v současné době využívá na vytápění budov areálu a pro vytápění nově postavených skleníků. Právě skleníky jsou důvodem pro zvýšení výroby tepelné energie pro jejich vytápění.

### 4.1 Popis Zemědělského družstva Haňovice

Družstvo Haňovice se nachází v jedné z nejstarších obcí olomouckého regionu. Zprávy o ní se objevují již roku 1141. Hanácká vesnice se nachází nedaleko města Litovel. Skládá se ze dvou částí Kluzov a Haňovice. Počet obyvatel je okolo 460. Zásadním rokem pro obec je rok 1990, kdy se konaly první komunální volby a k datu 1.1. 1991 se rozhodla pro osamostatnění. [10]

Na to, že obec neobydluje tolik lidí, se může pochlubit vlastní mateřskou školkou a základní školou pro děti prvního stupně. Má také svůj sbor dobrovolných hasičů a vlastní fotbalový klub. Obední úřad sídlí v místním kulturním domě, kde se pořádají plesy, volby i zábavy. [10]

Družstvo vzniklo jako nástupce původního JZD Doubrava. Je tvořeno postupným spojením celkem 16 celků. Rozkládá se v okrajové části Hané západně od města Litovel. Severní část je zahrnuta do CHKO Litovelské Pomoraví. Celková rozloha činí 2 127 ha zemědělské půdy. [11] Zabývá se:

- a) **rostlinnou výrobou**
- b) **chovem dobytka**
- c) **ostatní provozy - zde patří:**

- c1) Plasty
- c2) Skleníky na pěstování rajčat
- c3) Bioplynová stanice

#### **a) Rostlinná výroba**

V oblasti rostlinné výroby se družstvo zaměřuje na pěstování potravinářské pšenice, cukrové řepy, sladovnického ječmene, řepky olejky a krmných plodin. Dále jsou to osiva obilovin, olejnin, trav a píce pro živočišnou výrobu a kukuřice. [11]

#### **b) Chov dobytka**

Družstvo se zabývá i chovem zvířat jako je mléčný skot s počtem 868 kusů. Denně vyprodukuje 11,5 až 12 tisíc litrů mléka, které dodávají do olomoucké firmy Olma na výrobu mléčných výrobků. Dalším druhem, který chová, jsou prasata a to ve dvou střediscích. První porodna a odchovna prasat v Sobáčově s průměrným počtem 236 prasníc a 1 442 selat. Druhé místo je výkrmna vepřů v Bílé Lhotě s počtem 1960 kusů prasat. [11]

#### **c1) Plasty**

Mezi další provoz družstva Haňovice patří nezemědělské středisko Plasty Mladeč s provozem od roku 1992. V posledních letech se výroba rozšířila o extruzní linku na výrobu tiskových strun pro 3D tiskárny a linkou na výrobu profilů pro kompletaci kapsových vzduchotechnických filtrů. V současnosti mohou nabídnout velký sortiment profilů pro reklamní účely, profily pro kompletaci kapsových vzduchotechnických filtrů, trubky a tiskových strun pro 3D tiskárny. [11]

#### **c2) Skleníky**

Se stavbou skleníku družstvo začalo na jaře roku 2016. Na podzim byl hotový první menší skleník o přibližné velikosti 1 ha. Spolu s druhým větším skleníkem celková plocha činí 3 ha. Rajčata se pěstují bez půdy v kokosových matracích zavlažovaných živným roztokem. Pro osvětlení a vytápění se používá bioplyn z BPS. Skleníky zároveň fungují i jako sběrná plocha pro dešťovou vodu. Předpokládaná úroda z první sklizně by se měla pohybovat okolo 700 tun cherry rajčat, která budou k prodeji v našem supermarketech.

### c3) Bioplynová stanice

Bioplynová stanice je v provozu od roku 2012 o celkovém výkonu 1 MW. Slouží pro vytápění a dodávky el. energie pro celé družstvo. Hlavními surovinami pro výrobu bioplynu používají kukuřičnou siláž, luční senáž, hovězí a prasečí kejdu. Kejda je vlastním produktem chovaných zvířat. Do BPS se dopravuje pomocí čerpadel z jímek určených zvlášť pro hovězí a prasečí kejdu. Kukuřičná siláž a luční senáž se naváží do dvou zásobníků, které jsou pro čtyři fermentory. V zásobnících jsou tyto suroviny dávkovány v určitých časových intervalech pomocí šneků viz obr. č. 4.1. Denně se naváží do BPS asi 26 t kukuřičné siláže, 3,5 t luční senáže, 50 t hovězí kejdy, 23 t prasečí kejdy a teď i nově po podzimní kampani v nedalekém cukrovaru 10 t cukrovarských řízků. Denní produkce z těchto surovin stačí na výrobu přibližně 10 500 m<sup>3</sup> bioplynu o jehož spalování se starají čtyři motory. Každý motor má výkon 250 kW dodavatelem je firma Schnell obr. č. 4.2. Digestát jakožto vedlejší produkt z BPS je skladován v síle, kde se pomocí separátoru odděluje tuhá a tekutá část. Tuhá část se využívá jako hnojivo na pole obr. č. 4.3. Tekutá část je skladována v lagunách nedaleko zemědělského družstva a slouží také jako hnojivo na pole.



Obr. č. 4.1 Zásobník pro kukuřičnou a travní senáž (Viz. autor)





Obr. č. 4.2 Motory pro spalování bioplynu (Viz. autor)



Obr. č. 4.3 Vyseparovaná část z digestátu sloužící jako hnojivo na pole (Viz. autor)

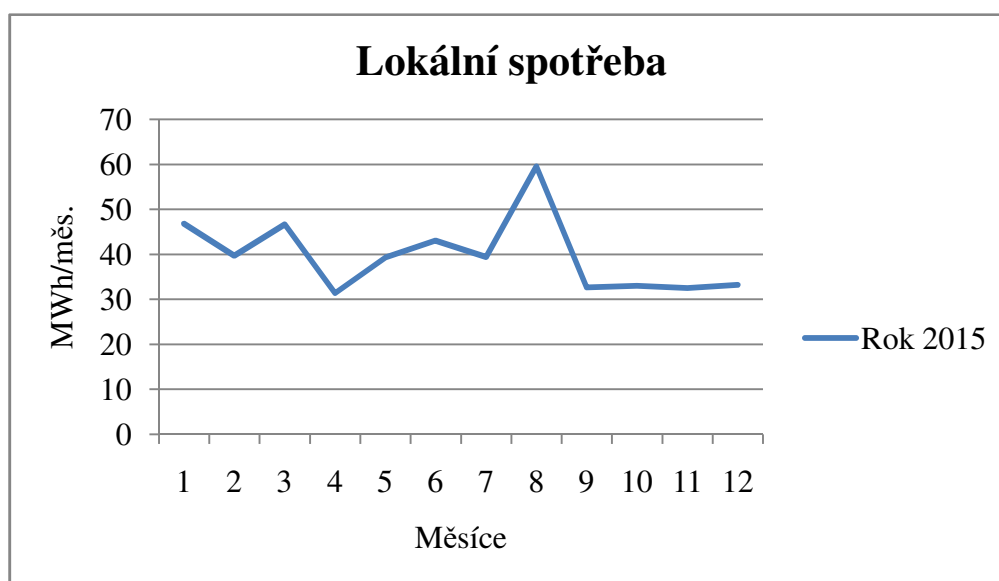
## 4.2 Elektrická a tepelná energie

### 4.2.1 Elektrická energie

Spotřeba elektrické energie v areálu družstva pro rok 2015 je uvedena v tabulce č. 4.1, pro rok 2016 pak v tabulce č. 4.2. V tabulkách jsou uvedeny lokální spotřeby, což znamená spotřeba el. energie v areálu družstva mimo BPS. Oproti tomu technologická spotřeba je spotřeba samotné BPS. Dále jsou zaznamenány ztráty v trafu, které jsou způsobeny převodem el. energie do vysokého napětí.

<b>Rok 2015</b>	<b>Nákup 2015</b>	<b>Podpora z OZE</b>	<b>Technolog. Spotřeba</b>	<b>Lokální spotřeba</b>	<b>Dodávka 2015</b>	<b>Ztráty na trafu</b>
	[MWh/měs.]	[MWh/měs.]	[MWh/měs.]	[MWh/měs.]	[MWh/měs.]	[MWh/měs.]
leden	0,08	674,64	21,38	46,77	666,53	0,21
únor	0,06	604,09	20,60	39,65	594,64	0,21
březen	0,06	686,87	17,91	46,59	677,57	0,18
duben	0,11	652,42	29,89	31,35	654,76	0,30
květen	0,05	676,69	30,72	39,25	674,03	8,38
červen	0,14	587,93	29,36	43,03	625,79	7,00
červenec	0,05	648,41	33,77	39,35	647,02	6,77
srpen	0,02	648,10	36,42	59,48	648,10	7,25
září	0,04	646,65	25,76	32,64	651,21	7,04
říjen	0,03	670,54	24,32	32,94	676,58	7,32
listopad	0,02	652,34	29,70	32,48	656,53	7,10
prosinec	0,00	674,61	22,77	33,17	680,16	7,36
<b>Celkem</b>	<b>0,65</b>	<b>7823,27</b>	<b>322,59</b>	<b>476,70</b>	<b>7852,92</b>	<b>59,11</b>

Tab. č. 4.1 Elektrická energie v roce 2015

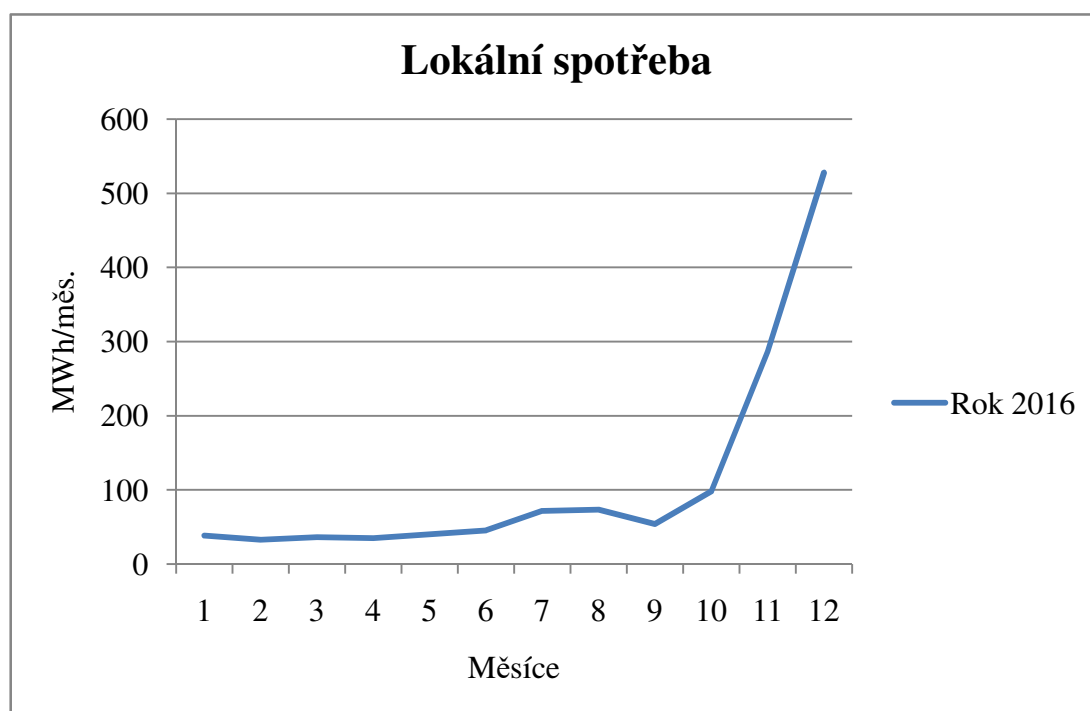


Graf. č. 4.1 Lokální spotřeba v roce 2015

V grafu č. 4.1 lokální spotřeby si můžeme všimnout v osmém měsíci velkého nárůstu spotřeby elektrické energie, který je zapříčiněn žňovým obdobím a v letních měsících při velkých teplotách, dochází ke spuštění ventilátorů pro dobytek.

<b>Rok 2016</b>	<b>Nákup 2016</b>	<b>Podpora z OZE</b>	<b>Technolog. spotřeba</b>	<b>Lokální spotřeba</b>	<b>Dodávka 2016</b>	<b>Ztráty na trafu</b>
	[MWh/měs.]	[MWh/měs.]	[MWh/měs.]	[MWh/měs.]	[MWh/měs.]	[MWh/měs.]
leden	0,03	665,59	22,55	38,33	666,59	7,21
únor	0,00	627,05	29,57	32,93	633,50	6,85
březen	0,02	670,10	24,12	36,47	675,12	7,30
duben	0,05	651,21	29,87	35,00	654,55	7,08
květen	0,14	627,40	29,40	40,47	621,67	6,72
červen	0,33	631,32	32,75	45,47	620,86	6,72
červenec	0,06	621,60	27,63	71,80	593,98	6,42
srpen	0,10	643,83	27,01	73,36	606,66	6,56
září	0,01	636,24	26,13	54,03	626,44	6,78
říjen	0,02	672,31	26,40	98,20	611,78	6,62
listopad	31,12	593,12	52,71	286,37	373,08	4,04
prosinec	73,76	683,90	20,45	527,68	195,87	2,12
<b>Celkem</b>	<b>105,63</b>	<b>7723,66</b>	<b>348,58</b>	<b>1340,11</b>	<b>6880,10</b>	<b>74,41</b>

Tab. č. 4.2 Elektrická energie v roce 2016

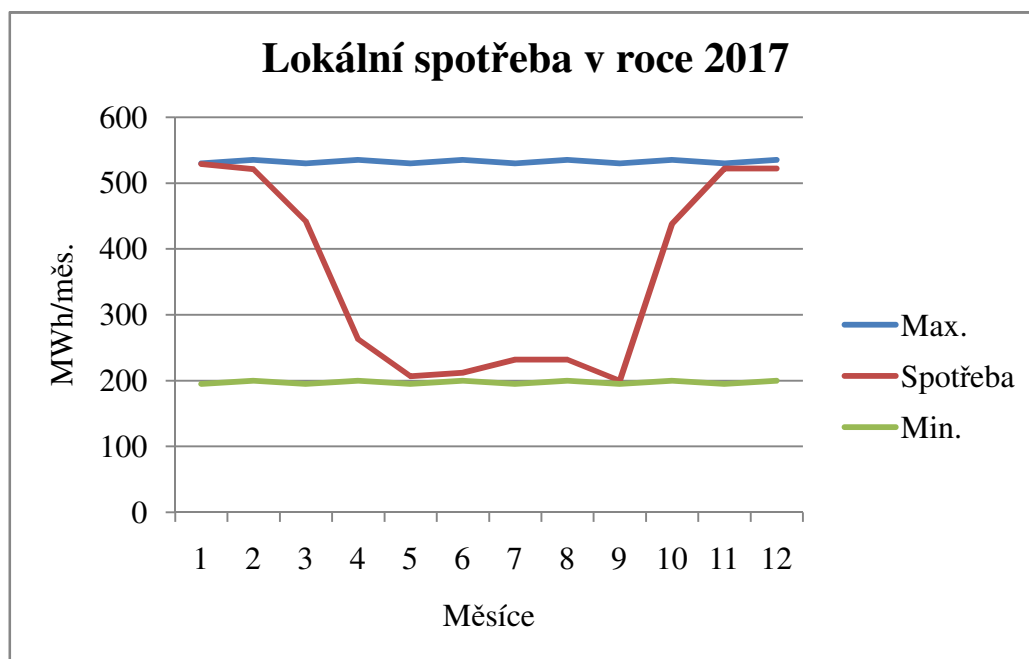


Graf. č. 4.2 Lokální spotřeba v roce 2016



Z grafu č. 4.2 je patrný nárůst v listopadu, kdy se začala lokální spotřeba rapidně zvyšovat díky zapojení nových skleníků na pěstování rajčat.

Pro rok 2017 jsem v grafu č. 4.3 určil předpokládaný trend vývoje lokální spotřeby s jeho minimem a maximem. Velká spotřeba elektrické energie od října do března je způsobena nedostatečným slunečním zářením, proto se musí více svítit ve sklenících na rajčata. Naopak přes jarní a letní měsíce je spotřeba elektrické energie menší, díky většímu slunečnímu záření.



Graf. č. 4.3 Lokální spotřeba v roce 2017

### 4.2.2 Tepelná energie

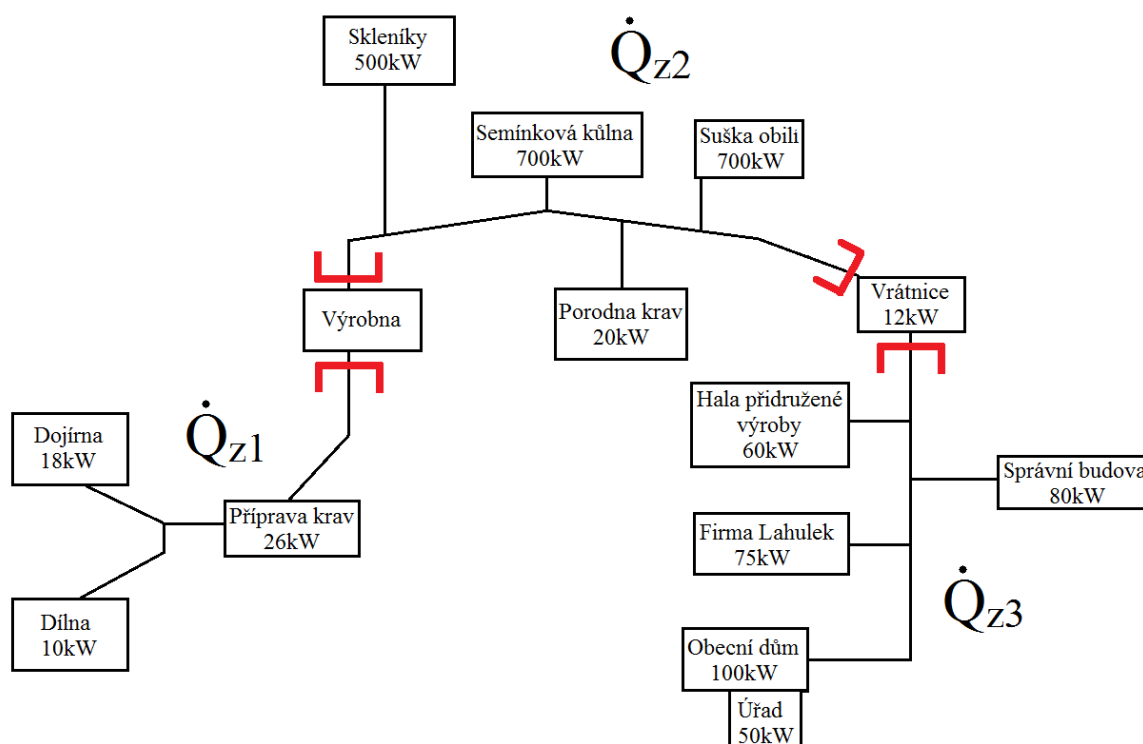
Zde jsem vytvořil tabulku č. 4.3 od největších odběratelů tepla, až po ty nejmenší jedná se o budovy v areálu družstva.

Číslo	Budovy	Teplo	Druh topení
		[kW]	
1	Semínková kůlna	700	Podzemní kanály
2	Suška obilí	700	Radiátor
3	Skleníky	500	Radiátor
4	Obecní dům	150	Radiátor
5	Správní budova	80	Radiátor
6	Lahulek	75	Radiátor
7	Hala přidružené výroby	60	Radiátor
8	Příprava krav	26	Radiátor
9	Porodna krav	20	Radiátor
10	Dojírna, soc. zařízení	18	Radiátor
11	Vrátnice	12	Radiátor
12	Dílna	10	Radiátor
<b>Celkem</b>		<b>2351</b>	

Tab. č. 4.3 Budovy v areálu

### 4.3 Tepelné ztráty

Rozvody topné vody pro celý areál družstva realizovala firma Uponor. Bylo použito Uponor Ecoflex Thermo potrubí s různými průměry od DN100 až po DN25. Areál jsem rozdělil celkem na 3 části viz. obr. č. 4.4. Pro každou část jsem provedl výpočet tepelných ztrát, které jsou více popsány v podkapitole 4.3.1. Jednotlivé délky potrubí mezi budovami jsou uvedeny v příloze této diplomové práce a to ve výkresové části.

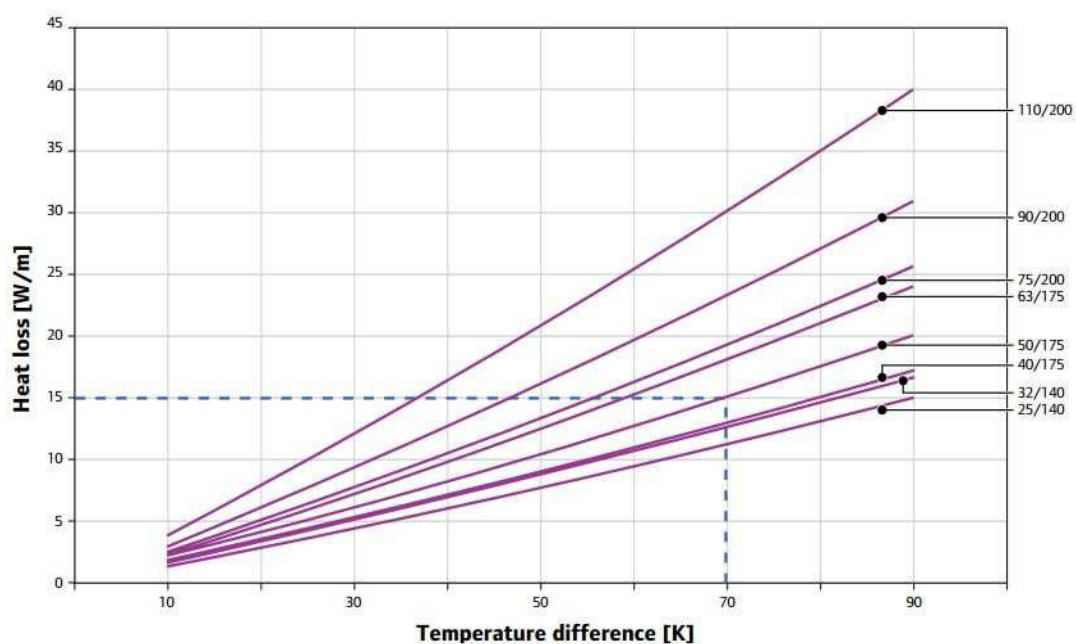


Obr. č. 4.4 Rozdělení areálu na tři části

### 4.3.1 Výpočet tepelných ztrát

#### 4.3.2 Tepelné ztráty $\dot{Q}_{z1}$

V první části bylo použito teplovodní potrubí DN80 a DN25. Pro určení tepelných ztrát jsem použil graf č. 4.4 tepelné ztráty jednotlivých potrubí poskytnuté družstvem Haňovice.



Graf. č. 4.4 Tepelné ztráty jednotlivých potrubí [12]

Ztráty jsem počítal dle rovnice č. 1 a č. 2

$$\Delta T = T_M - T_E \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (1)$$

kde:

$\Delta T$  - rozdíl teplot [ $^\circ\text{C}$ ]

$T_M$  - teplota média [ $^\circ\text{C}$ ]

$T_E$  - teplota zeminy [ $^\circ\text{C}$ ]

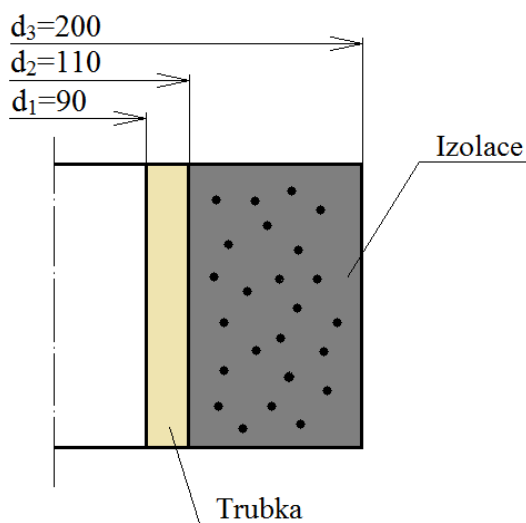
$$\dot{q}_{zl} = L \cdot \dot{q}_z \text{ [W]} \quad (2)$$

kde:

$\dot{q}_{zl}$  - celková tepelná ztráta potrubí pro danou délku [W]

$L$  - délka potrubí [m]

$\dot{q}_z$  - tepelná ztráta na 1 m [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1}$ ]

**Ztráty pro potrubí DN80**

Obr. č. 4.5 Průměry pro potrubí DN80

Výpočet dle rovnice č. 1

$$\Delta T = T_M - T_E [^{\circ}\text{C}]$$

$$\Delta T = 75 - 5 = 70 \text{ K}$$

Tepelná ztráta pro potrubí DN80 dle grafu č. 4.4 je  $\dot{q}_{z80} = 23 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}$  a pro délku 90 m, výpočet dle rovnice č. 2

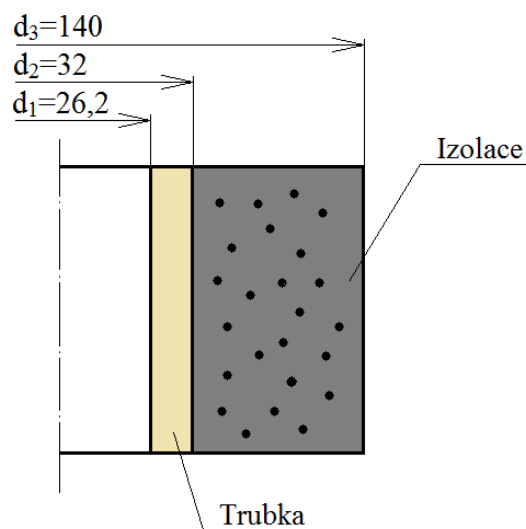
$$\dot{q}_{zl80} = L \cdot \dot{q}_{z80} [\text{W}]$$

$$\dot{q}_{zl80} = 90 \cdot 23 = 2\,070 \text{ W}$$

Celková tepelná ztráta dle rovnice č. 2 pro potrubí DN80, délky 90 m je 2 070 W.

**Ztráty pro potrubí DN25**

Opět určím pomocí grafu č. 4.4. Teplotní rozdíl zůstává stejný pouze se mění křivka v grafu. Tedy  $\Delta T = 70 \text{ K}$ .



Obr. č. 4.6 Průměry pro potrubí DN25

Tepelná ztráta pro potrubí DN25 dle grafu č. 4.4 je  $\dot{q}_{z25}=12,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}$  a pro délku 68 m, výpočet dle rovnice č.2

$$\dot{q}_{zl25} = L \cdot \dot{q}_{z25} [\text{W}]$$

$$\dot{q}_{zl25} = 68 \cdot 12,5 = 850 \text{ W}$$

Celková tepelná ztráta dle rovnice č. 2 pro potrubí DN25, délky 68 m je 850 W.

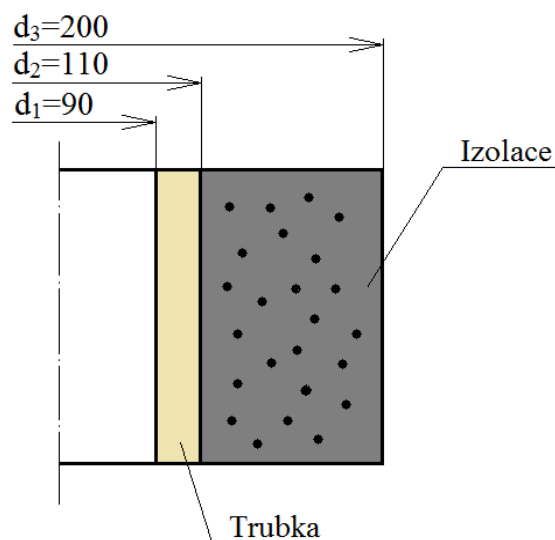
Celkové tepelné ztráty pro část č. 1 jsou:

$$\dot{Q}_{Z1} = \dot{q}_{zl80} + \dot{q}_{zl25} = 2\,070 + 850 = 2\,920 \text{ W}$$

$\dot{Q}_{Z1}$  jsem určil jako součet dvou tepelných ztrát potrubí DN80 a DN25. Celkové tepelné ztráty  $\dot{Q}_{Z1}$  jsou 2 920 W.

### 4.3.3 Tepelné ztráty $\dot{Q}_{Z2}$

#### Ztráty pro potrubí DN100



Obr. č. 4.7 Průměry pro potrubí DN100

V druhé část bylo použito teplovodní potrubí DN100. Z grafu č. 4.4 je pro toto teplovodní potrubí DN100 tepelná ztráta  $\dot{q}_{z100}=30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}$ . Na celkovou délku potrubí 654 m pak, výpočet dle rovnice č. 2

$$\dot{q}_{zl100} = L \cdot \dot{q}_{z100} [\text{W}]$$

$$\dot{q}_{zl100} = 654 \cdot 30 = 19\,620 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{Z2} = \dot{q}_{zl100} = 19\,620 \text{ W}$$

Celková tepelná ztráta pro potrubí DN100 o délce 654 m je 19 620 W. Což je současně i tepelná ztráta  $\dot{Q}_{Z2}$ .

#### 4.3.4 Tepelné ztráty $\dot{Q}_{Z3}$

##### Ztráty pro potrubí DN80

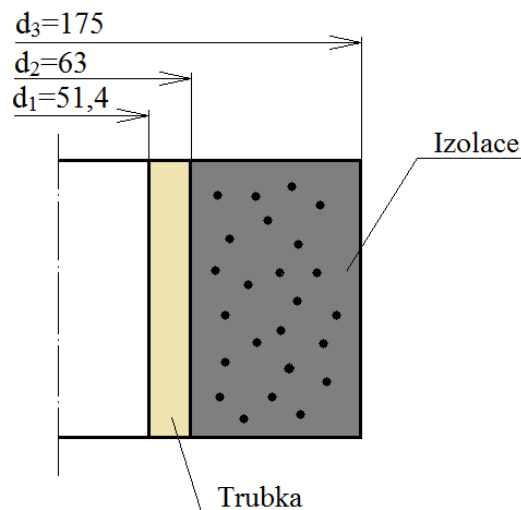
V poslední třetí části bylo použito teplovodní potrubí DN80 a DN50. Z předchozích výpočtů viz. podkapitola 4.3.2 jsem již z grafu zjistil hodnotu teplovodních ztrát pro potrubí DN80 je  $\dot{q}_{z80} = 23 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1}$ . Proto teplovodní ztráta pro délku potrubí 133 m, byla dopočtena dle rovnice č. 2:

$$\dot{q}_{zl80} = L \cdot \dot{q}_{z80} [\text{W}]$$

$$\dot{q}_{zl80} = 133 \cdot 23 = 3\,059 \text{ W}$$

##### Ztráty pro potrubí DN50

Pro potrubí DN50 je dle grafu č. 4.4 teplovodní ztráta  $\dot{q}_{z50} = 18 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1}$ . Celková ztráta pro délku potrubí 131 m, byla dopočtena dle rovnice č. 2:



Obr. č. 4.8 Průměry pro potrubí DN50

$$\dot{q}_{zl50} = L \cdot \dot{q}_{z50} [\text{W}]$$

$$\dot{q}_{zl50} = 131 \cdot 18 = 2\,358 \text{ W}$$

Celková tepelná ztráta pro 3. část je:

$$\dot{Q}_{Z3} = \dot{q}_{zl80} + \dot{q}_{zl50} = 3\,059 + 2\,358 = 5\,417 \text{ W}$$

Celkové ztráty pro třetí úsek  $\dot{Q}_{Z3}$  jsou 5 417 W.

### 4.3.5 Celkové tepelné ztráty $\dot{Q}_{ZC}$

Celková tepelná ztráta v celém areálu družstva Haňovice byly vypočteny jako součet všech tří částí  $\dot{Q}_{Z1} + \dot{Q}_{Z2} + \dot{Q}_{Z3}$ . Pro přehlednost jsem jednotlivé ztráty ze všech tří částí zaznamenal v tabulce č. 4.4. včetně celkových ztrát.

Tepelné ztráty	[W]
$\dot{Q}_{Z1}$	2 920
$\dot{Q}_{Z2}$	19 620
$\dot{Q}_{Z3}$	5 417
$\dot{Q}_{ZC}$	27 957

Tab. č. 4.4 Tepelné ztráty v areálu

$$\dot{Q}_{ZC} = \dot{Q}_{Z1} + \dot{Q}_{Z2} + \dot{Q}_{Z3} [W]$$

$$\dot{Q}_{ZC} = 2\,920 + 19\,620 + 5\,417 = 27\,957\,W$$

Celková tepelná ztráta, která je součtem tří částí  $\dot{Q}_{Z1}$ ,  $\dot{Q}_{Z2}$  a  $\dot{Q}_{Z3}$  se rovná 27 957 W.

## 5. Návrh řešení

Prvním cílem této diplomové práce je návrh optimalizace vsázky, pro kterou jsem vytvořil výpočetní program v programu MS excel. Navržený program je v příloze této práce. Na základě tohoto programu lze spočítat potřebné množství vstupních materiálů na výrobu bioplynu. Program je vytvořen pro každý měsíc v roce. Na jednotlivých listech jsou jednotlivé měsíce rozepsány ve dnech a posledním listem v programu je celkové roční vyhodnocení. A díky tomu lze zjistit kolik tun materiálu spotřebujeme za jeden den, měsíc nebo rok a jaká bude finanční náročnost. Tento program přispěje k rychlé orientaci a zjištění množství vstupní vsázky pro výrobu požadovaného množství bioplynu a jeho cenu. Výhodou programu je také možnost plánovat do budoucna a návrh nových vstupních surovin do procesu. Program může také sloužit jako elektronický deník pro přehlednost provozu. Pro názornou ukázkou jsem vytvořil zjednodušený příklad optimalizace provozu pro jeden rok viz. podkapitola 5.1.1. Roční optimalizace vsázky podle navrženého programu.



## 7. Závěr

Cílem diplomové práce byla optimalizace provozu BPS. Za referenční BPS jsem si zvolil BPS Zemědělského družstva Haňovice. Volbu jsem provedl zejména s ohledem na její dostupnost a ochotu spolupráce na řešení mé diplomové práce. Následně se ukázalo, že práce je velmi zajímavá a rozhodl jsem se, že také do podniku nastoupím. S tím to cílem jsem přistupoval k detailnímu plnění cílů diplomové práce – uplatnit zpracované poznatky následně v praxi.

Plnění cílů jsem rozdělil do těchto částí:

- a) zjištění stavu tepelných rozvodů a výpočet tepelných ztrát pro areál družstva Haňovice,
- b) zabezpečení dodávky tepla do skleníků,
- c) návrh nového motoru,
- d) optimalizace vstupních surovin, jejich finanční náročnost a surovinové množství.

Ukázalo se, že je nutné detailně spočítat tepelné ztráty z hlediska potenciálního úniku produkovaného tepla pro vytápění prostor v areálu. Tato informace nebyla doposud v družstvu k dispozici. Podrobně je tato podkapitola popsána v bodě 4.3. Tepelné ztráty. Vypočtené tepelné ztráty jsou cca 28 kW, tyto ztráty jsou vzhledem k vyprodukovanému celkovému teplu zanedbatelné a nebudu se jimi dále zabývat.

Pomocí odpadního tepla, které vzniká z chlazení motorů, se vytápí celý areál družstva, ale rovněž byl zájem využívat teplo pro vytápění skleníků. Z důvodu nedostatečného množství tepla pro nově vybudované skleníky, bylo nutné zvýšit výrobu tepelné energie. Doposud byly skleníky vytápěny částečně z produkovaného/odpadního tepla a z plynové kotelny, která je v areálu k dispozici. Součástí této diplomové práce je návrh na optimalizaci vstupní vsázky pro výrobu dostatečného množství tepelné energie z bioplynu, ekonomické zhodnocení návrhu včetně návratnosti a výpočtu zisku. Zvýšení výroby tepelné energie tak zajistí menší náklady na provoz skleníků a to zejména v zimních měsících, kdy byly vytápěny plynovým kotlem.

Na základě uplatnitelnosti opakovaně a požadavku průběžné optimalizace jsem vytvořil výpočetní program, který je schopen na základě změny poměru vstupní vsázky vypočítat produkci bioplynu, náklady na pořízení vstupních surovin, provoz a také zisk či návratnost. Program lze modulově doplňovat za účelem aplikace dalších požadavků zemědělského družstva. Při malých úpravách je aplikovatelný i na další BPS, má tedy

obecnou platnost. Součástí diplomové práce měly být i reálné testy v pilotním reaktoru VŠB-TU Ostrava, bohužel díky protažení délky rekonstrukce zateplení budovy nebylo možné testy realizovat a jako podklady pro výpočetní program byly využity teoretické hodnoty a výpočty z odborné literatury, korigované praktickými zkušenostmi zvolené BPS.

Pro docílení větších dodávek tepelné energie pro vytápění skleníků i v zimních měsících, navrhl jsem do stávajícího systému sekundární strojovnu pro další motor o výkonu 250 kW<sub>el.</sub>. Problémem jsem se zabýval komplexně, tedy i co se bude dít s teplem v letních obdobích a to jak ve vztahu k tepelné, tak elektrické energii. Sekundární strojovnu o stejných rozměrech jsem navrhl postavit na jedinou potenciální lokalitu (naproti stávající) a to z důvodu prostoru i logistiky rozvodu spalovaného bioplynu. viz. výkresová dokumentace, která je součástí této práce. Ekonomické zhodnocení jsem realizoval pro můj návrh s dalším motorem. Podrobně je tato kapitola popsána v bodě č. 6.

V práci bylo provedeno i ekonomické zhodnocení, ze kterého vyplývá, že výstavba nové strojovny a zakoupení dalšího motoru přispěje k ušetření nákladů na provoz skleníků. Přestože náklady na provoz BPS vzrostou, zejména vlivem větší spotřeby surovin pro výrobu bioplynu vrátí se zpět finance díky nově vyprodukované elektrické a tepelné energii z dalšího motoru, jak je patrné z navržených výpočetních programů. Na základě vypočtených údajů a ekonomického zhodnocení mohu konstatovat, že nový motor je dobrou investicí s poměrně krátkou dobou návratnosti. Detaily jsou uvedeny v kapitole 6, která obsahuje citlivá data.

Vzhledem k tomu, že celá diplomová práce využívá reálná data a její výsledky by měly být uplatněny v praxi, tedy týká se citlivých dat spolupracující osoby (viz Studijní a stip. řád čl. 26 odst. 9), jsou kapitoly 5 a 6 zpracovány v samostatné zprávě, která je uložena na katedře u vedoucí diplomové práce. Spolupracující firma souhlasí se zveřejněním diplomové práce bez citlivých dat.

## 8. Použitá literatura

- [1] *Czba. Česká bioplynová asociace* [online]. [cit. 2017-05-01].  
Dostupné z WWW. <<http://www.czba.cz/>>
- [2] SCHULZ, H. a B. EDER. *Bioplyn v praxi: teorie - projektování - stavba zařízení - příklady*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2004, 167 s. ISBN 80-86167-21-6.
- [3] *Průvodce výrobou a využitím bioplynu* Praha: CZ Biom, 2009, 155 s. ISBN 978-80-903777-5-2.
- [4] *Bioplyn. Vlastnosti BP* [online]. [cit. 2017-05-01].  
Dostupné z WWW. <[http://www.bioplyn.cz/at\\_vlastnosti.htm](http://www.bioplyn.cz/at_vlastnosti.htm)>
- [5] STRAKA, F. a M. DOHÁNYOS. *Bioplyn: [příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů]*. 2., rozš. a dopl. vyd. Praha [i.e. Říčany u Prahy]: GAS, 2006, 706 s. ISBN 80-7328-090-6.
- [6] *FNR. Guide to Biogas*. 5th. Gülzow: FNR, 2012, 232 s. [online]. [cit. 2017-05-01].  
Dostupné z WWW. <<https://mediathek.fnr.de/broschuren/fremdsprachige-publicationen/english-books/guide-to-biogas-from-production-to-use.html>>
- [7] *European-biogas. EBA Biomethane & Biogas Report 2015 published!* [online]. [cit. 2017-05-01].  
Dostupné z WWW. <<http://european-biogas.eu/2015/12/16/biogasreport2015/>>
- [8] *Clean Energy Wire. Bioenergy in Germany – facts and figures on development, support and investment* [online]. [cit. 2017-05-01].  
Dostupné z WWW. <<https://www.cleanenergywire.org/factsheets/bioenergy-germany-facts-and-figures-development-support-and-investment>>
- [9] *American Biogas Council. American Biogas Council* [online]. [cit. 2017-05-01].  
Dostupné z WWW. <[https://www.americanbiogascouncil.org/biogas\\_maps.asp](https://www.americanbiogascouncil.org/biogas_maps.asp)>.
- [10] *Haňovice. Informace o obci* [online]. [cit. 2017-05-01].  
Dostupné z WWW. <<http://www.hanovice.cz/informace-o-obci/>>
- [11] *ZDHa. Střediska* [online]. [cit. 2017-05-01].  
Dostupné z WWW. <<http://www.zdhanovice.cz/cs/>>
- [12] *Předizolované potrubí Uponor: Technické informace* [online]. [cit. 2017-05-01].  
Dostupné z WWW.  
<[https://www.uponor.cz/~media/countryspecific/czech/download-centre/technical-manual/05\\_ti\\_lhd\\_2013.pdf?version=1](https://www.uponor.cz/~media/countryspecific/czech/download-centre/technical-manual/05_ti_lhd_2013.pdf?version=1)>

**Seznam obrázků**

strana

Obr. č. 3.1 Schéma bioplynových technologií	14
Obr. č. 3.2 Proces fermentace ve čtyřech fázích	19
Obr. č. 3.3 Mapa bioplynových stanic v USA	26
Obr. č. 4.1 Zásobník pro kukuřičnou a travní senáž (Viz. autor)	29
Obr. č. 4.2 Motory pro spalování bioplynu (Viz. autor)	30
Obr. č. 4.3 Vyseparovaná část z digestátu sloužící jako hnojivo na pole (Viz. autor)	30
Obr. č. 4.4 Rozdělení areálu na tři části	35
Obr. č. 4.5 Průměry pro potrubí DN80	37
Obr. č. 4.6 Průměry pro potrubí DN25	37
Obr. č. 4.7 Průměry pro potrubí DN100	38
Obr. č. 4.8 Průměry pro potrubí DN50	39

**Seznam tabulek**

Tab. č. 3.1 Horizontální fermentory a jejich údaje	16
Tab. č. 3.2 Vertikální fermentory a jejich údaje	16
Tab. č. 3.3 Údaje pro suchou fermentaci	17
Tab. č. 3.4 Složení bioplynu	18
Tab. č. 3.5 Postupy na výrobu bioplynu, dle daných kritérií	18
Tab. č. 3.6 Základní údaje o fóliích	23
Tab. č. 4.1 Elektrická energie v roce 2015	31
Tab. č. 4.2 Elektrická energie v roce 2016	32
Tab. č. 4.3 Budovy v areálu	34
Tab. č. 4.4 Tepelné ztráty v areálu	40
Tab. č. 5.1 Současné vstupy do BPS	41
Tab. č. 5.2 Výnosy bioplynu z jednotlivých surovin	41
Tab. č. 5.3 Množství surovin a bioplynu část I od ledna do dubna	42
Tab. č. 5.4 Množství surovin a bioplynu část II od dubna do září	42
Tab. č. 5.5 Množství surovin a bioplynu část III od září do prosince	43
Tab. č. 5.6 Množství tun potřebných surovin	44
Tab. č. 5.7 Ceny vstupních surovin	44
Tab. č. 5.8 Cena vstupních surovin podle příkladu na rok	44
Tab. č. 5.9 Parametry motoru Schnell	45
Tab. č. 6.1 Současné vstupní suroviny bez cukrovarských řízků dávkování od srpna	46
Tab. č. 6.2 Spotřeba surovin za rok 2016	46

Tab. č. 6.3 Ceny surovin za rok 2016	46
Tab. č. 6.4 Celkové roční náklady na provoz BPS rok 2016	46
Tab. č. 6.5 Celkové zisky elektrické energie pro rok 2016	47
Tab. č. 6.6 Ušetřené náklady za nákup el. energie rok 2016	47
Tab. č. 6.7 Celkový zisk elektřina rok 2016	47
Tab. č. 6.8 Zisk z ušetřeného nákupu tepla rok 2016	48
Tab. č. 6.9 Celkový zisk elektřina a teplo rok 2016	48
Tab. č. 6.10 Čistý zisk BPS rok 2016	48
Tab. č. 6.11 Celkové roční náklady na provoz BPS rok 2017	48
Tab. č. 6.12 Celkové zisky elektrické energie pro rok 2017	49
Tab. č. 6.13 Ušetřené náklady za nákup el. energie rok 2017	49
Tab. č. 6.14 Celkový zisk elektřina rok 2017	49
Tab. č. 6.15 Zisk z ušetřeného nákupu tepla rok 2017	49
Tab. č. 6.16 Celkový zisk elektřina a teplo rok 2017	50
Tab. č. 6.17 Čistý zisk BPS rok 2017	50
Tab. č. 6.18 Roční náklady za optimalizovanou vsázku	50
Tab. č. 6.19 Celkové roční náklady pro optimalizovanou vsázku	51
Tab. č. 6.20 Celkové zisky elektrické energie pro optimalizovanou vsázku	51
Tab. č. 6.21 Ušetřené náklady za nákup el. energie optimalizovaná vsázka	51
Tab. č. 6.22 Celkový zisk elektřina optimalizovaná vsázka	51
Tab. č. 6.23 Zisk z ušetřeného nákupu tepla optimalizovaná vsázka	52
Tab. č. 6.24 Celkový zisk elektřina a teplo	52
Tab. č. 6.25 Čistý zisk BPS optimalizovaná vsázka	52
Tab. č. 6.26 Investiční náklady nový motor	52
Tab. č. 6.27 Ztráty způsobené investicí na nový motor	53
Tab. č. 6.28 Srovnání energií a zisků současného a nového provozu	53

## Seznam grafů

Graf. č. 3.1 Počet bioplynových stanic v Evropě po rok 2015	25
Graf. č. 4.1 Lokální spotřeba v roce 2015	31
Graf. č. 4.2 Lokální spotřeba v roce 2016	32
Graf. č. 4.3 Lokální spotřeba v roce 2017	33
Graf. č. 4.4 Tepelné ztráty jednotlivých potrubí	36
Graf. č. 5.1 Porovnání stávající produkce s optimalizovanou vsázkou	43